

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2000269207 A**

(43) Date of publication of application: 29 . 09 . 00

(51) Int. Cl.

**H01L 21/316**  
**H01L 21/768**

(21) Application number: **11072252**

(22) Date of filing: 17 . 03 . 99

(71) Applicant: **CANON SALES CO  
INC. HANDOTAI PROCESS  
KENKYUSHO:KK**

(72) Inventor: **MAEDA KAZUO**

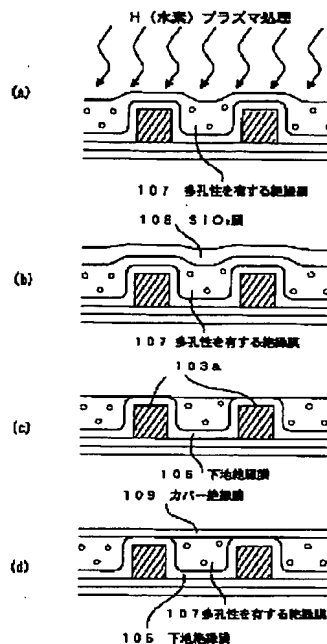
(54) **FORMING METHOD OF INTERLAYER  
INSULATING FILM AND SEMICONDUCTOR  
DEVICE**

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain a method of forming a low-permittivity interlayer insulating film, which is high in moisture resistance and satisfactory in heat resistance, and a semiconductor device provided therewith.

**SOLUTION:** An interlayer insulating film is formed through a method, where a compound containing Si and C is polymerized by the use of plasma to form an Si-C film or an Si-C-H film 106 on a base insulating film 105, the Si-C film or the Si-C-H film 106 is oxidized by O(oxygen) plasma into a porous SiO<sub>2</sub> film 107, the porous SiO<sub>2</sub> film 107 is plasma processed with H(hydrogen), and a cover insulating film 109 is formed on the porous SiO<sub>2</sub> film 107.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-269207  
(P2000-269207A)

(43) 公開日 平成12年9月29日 (2000.9.29)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
H 0 1 L 21/316  
21/768

識別記号

F I  
H 0 1 L 21/316  
21/90

テマコード\* (参考)

X 5 F 0 3 3  
S 5 F 0 5 8

審査請求 有 請求項の数20 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願平11-72252

(22) 出願日 平成11年3月17日 (1999.3.17)

(71) 出願人 390002761

キヤノン販売株式会社  
東京都港区三田3丁目11番28号

(71) 出願人 391007873

株式会社半導体プロセス研究所  
東京都港区港南2-13-29

(72) 発明者 前田 和夫

東京都港区港南2-13-29 株式会社半導体プロセス研究所内

(74) 代理人 100091672

弁理士 岡本 啓三

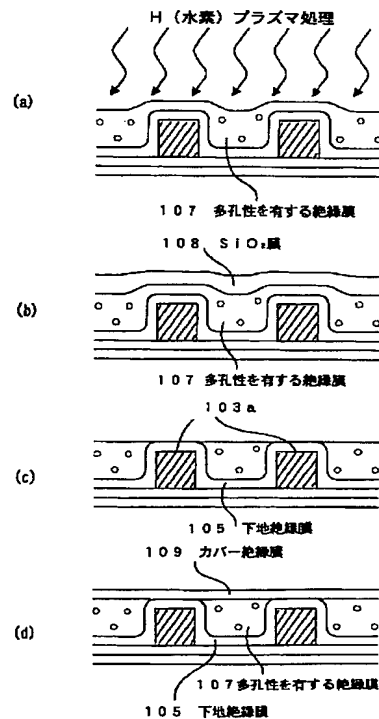
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 層間絶縁膜の形成方法及び半導体装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 耐吸湿性、及び、耐熱性が良い低誘電率層間絶縁膜の形成方法、及び、それを用いた半導体装置を提供すること。

【解決手段】 SiとCを含む化合物をプラズマ重合させ、Si-C膜、又は、Si-C-H膜106を下地絶縁膜105上に形成し、前記Si-C膜、又は、Si-C-H膜をO(酸素)プラズマにより酸化し、多孔性を有するSiO<sub>2</sub>膜を形成107し、該多孔性を有するSiO<sub>2</sub>膜107をH(水素)プラズマ処理し、該多孔性を有するSiO<sub>2</sub>膜107の上部にカバー絶縁膜109を形成する、層間絶縁膜の形成方法。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 SiとCを含む化合物をプラズマ重合させ、Si-C膜、又は、Si-C-H膜を被形成体上に形成し、

前記Si-C膜、又は、Si-C-H膜を酸化することにより、多孔性を有するSiO<sub>2</sub>膜を形成する層間絶縁膜の形成方法。

【請求項2】 SiとCを含む化合物と、O<sub>2</sub>とをプラズマ重合させ、Si-C-O膜、又は、Si-C-O-H膜を被形成体上に形成し、

前記Si-C-O膜、又は、前記Si-C-O-H膜を酸化することにより、多孔性を有するSiO<sub>2</sub>膜を形成する層間絶縁膜の形成方法。

【請求項3】 SiとCを含む化合物と、H<sub>2</sub>Oとをプラズマ重合させ、Si-C-O-H膜を被形成体上に形成し、

前記Si-C-O-H膜を酸化、又はアニールすることにより、多孔性を有するSiO<sub>2</sub>膜を形成する層間絶縁膜の形成方法。

【請求項4】 SiとCを含む化合物と、BとHを含む化合物とをプラズマ重合させ、Si-C-B膜、又は、Si-C-B-H膜を被形成体上に形成し、

前記Si-C-B膜、又は、前記Si-C-B-H膜を酸化することにより、多孔性を有するB含有のSiO<sub>2</sub>膜を形成する層間絶縁膜の形成方法。

【請求項5】 SiとCを含む化合物と、BとHを含む化合物と、O<sub>2</sub>とをプラズマ重合させ、Si-C-B-O膜、又は、Si-C-B-O-H膜を被形成体上に形成し、

前記Si-C-B-O膜、又は、前記Si-C-B-O-H膜を酸化することにより、多孔性を有するB含有のSiO<sub>2</sub>膜を形成する層間絶縁膜の形成方法。

【請求項6】 SiとCを含む化合物と、BとHを含む化合物と、H<sub>2</sub>Oとをプラズマ重合させ、Si-C-B-O-H膜を被形成体上に形成し、

前記Si-C-B-O-H膜を酸化、又はアニールすることにより、多孔性を有するB含有のSiO<sub>2</sub>膜を形成する層間絶縁膜の形成方法。

【請求項7】 SiとCを含む化合物と、CとFを含む化合物とをプラズマ重合させ、Si-C-F膜、又は、Si-C-F-H膜を被形成体上に形成し、

前記Si-C-F膜、又は、前記Si-C-F-H膜を酸化することにより、多孔性を有するF含有のSiO<sub>2</sub>膜を形成する層間絶縁膜の形成方法。

【請求項8】 SiとCを含む化合物と、CとFを含む化合物と、O<sub>2</sub>とをプラズマ重合させ、Si-C-F-O膜、又は、Si-C-F-O-H膜を被形成体上に形成し、

前記Si-C-F-O膜、又は、前記Si-C-F-O-H膜を酸化することにより、多孔性を有するF含有の

SiO<sub>2</sub>膜を形成する層間絶縁膜の形成方法。

【請求項9】 SiとCを含む化合物と、CとFを含む化合物と、H<sub>2</sub>Oとをプラズマ重合させ、Si-C-F-O-H膜を被形成体上に形成し、

前記Si-C-F-O-H膜を酸化することにより、多孔性を有するF含有のSiO<sub>2</sub>膜を形成する層間絶縁膜の形成方法。

【請求項10】 前記BとHを含む化合物はB<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、TMB(B(OCH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>)、TEB(B(OCH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>)のいずれかであることを特徴とする請求項4から請求項6のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項11】 前記CとFを含む化合物はC<sub>2</sub>F<sub>6</sub>であることを特徴とする請求項7から請求項9のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項12】 前記SiとCを含む化合物はTEOS、メチルシラン(Si(CH<sub>3</sub>)H<sub>3</sub>)、トリメチルシリルボレート( (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>SiO<sub>3</sub>B )のいずれかであることを特徴とする請求項1から請求項11のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項13】 前記プラズマ重合を行うとき、不活性ガスを添加することを特徴とする請求項1から請求項12のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項14】 前記酸化は、O(酸素)プラズマにより行われることを特徴とする請求項1から請求項13のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項15】 被形成体上に前記層間絶縁膜を形成後、該層間絶縁膜をH(水素)プラズマ処理することを特徴とする請求項1から請求項14のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項16】 前記被形成体上に下地絶縁膜を形成し、前記下地絶縁膜上に、前記層間絶縁膜を形成することを特徴とする請求項1から請求項15のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項17】 前記被形成体上に前記層間絶縁膜を形成した後、該層間絶縁膜に、パターニングにより、ダマシン溝を形成し、

前記ダマシン溝の側部にサイドウォール絶縁膜を形成し、

前記ダマシン溝の内部に金属膜を埋め込み、前記金属膜上にバリヤメタル層を形成することを特徴とする請求項1から請求項16のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項18】 前記サイドウォール絶縁膜は、前記ダマシン溝を形成後、前記層間絶縁膜の上部、該ダマシン溝の側部、及び、該ダマシン溝の下部に第1の絶縁膜を形成し、

前記第1の絶縁膜を、前記ダマシン溝の側部に形成された該第1の絶縁膜が残り、かつ、該ダマシン溝の底部に

形成された該第1の絶縁膜が除去される程度に異方的にエッチングすることにより形成することを特徴とする請求項17に記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項19】 前記層間絶縁膜を形成後、該層間絶縁膜上に、カバー絶縁膜を形成することを特徴とする請求項1から請求項18のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法。

【請求項20】 請求項1から請求項19のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法により形成された層間絶縁膜を有する半導体装置。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は層間絶縁膜の形成方法に関し、より詳しくは、高密度化された半導体装置に必要な低誘電率層間絶縁膜の形成方法に関する。近年、半導体装置の高密度化が進んでおり、それに伴い配線間の間隔が狭くなっている。このため、配線間の電気容量が増加するので、低誘電率の層間絶縁膜が要望されている。

#### 【0002】

【従来の技術】近年、LSIデバイスの高密度化、高集積化が進むに従い、配線が微細化、多層化している。それに伴い配線間の配線容量も増大している。そして、この配線容量の増加に起因する動作速度の低下が著しいので、その改善要求が高まっている。その改善策として、現在層間絶縁膜として用いられている $\text{SiO}_2$ よりも誘電率の小さい低誘電率層間絶縁膜を用いて配線間の電気容量を小さくする方法が検討されている。

有機系絶縁膜	比誘電率	熱分解温度(℃)	備考
フッ素樹脂	2.4	420	月刊Semiconductor World 1997年2月号p82
サイトップ	2.1	400	月刊Semiconductor World 1996年2月号p90
アモルファステロン	1.9	400	月刊Semiconductor World 1996年2月号p91

#### 【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記の $\text{SiO}_2$ 膜では、膜中のF濃度が増加するにつれて、耐吸湿性が低下するという欠点がある。耐吸湿性の低下は、ランジスター特性や上部バリアーメタル層の密着性に影響を及ぼすため、深刻な問題となる。また、上記の有機系低誘電率絶縁膜は、 $\text{Si}$ 膜と、 $\text{SiO}_2$ 膜との密着性が悪く剥がれやすい。更に、熱分解温度が400℃前後で、耐熱性が悪いという欠点がある。耐熱性が悪いという欠点は、ウェハーを高温でアニールする際に問題となる。

【0008】本発明は、係る従来例の課題に鑑みて創作されたものであり、耐吸湿性、及び、耐熱性が良い低誘電率層間絶縁膜の形成方法、及び、それを用いた半導体装置の提供を目的とする。

【0003】現在研究されている低誘電率層間絶縁膜の代表的なものとして、① $\text{SiOF}$ 膜、②有機系低誘電率絶縁膜、がある。これらの膜について、以下に簡単に説明する。

#### ① $\text{SiOF}$ 膜

$\text{SiOF}$ 膜は、Fを含んだ反応ガスを用いて、 $\text{SiO}_2$ 中の $\text{Si}-\text{O}$ 結合の一部を $\text{Si}-\text{F}$ 結合に置換することにより形成され、その比誘電率は、膜中のFの濃度が増加するにつれて単調に減少する。

- 10 【0004】 $\text{SiOF}$ 膜を形成する方法として、いくつかの方法が報告されている（月刊Semiconductor World 1996年2月号、p82参照）。その中で現在最も有望視されているものの1つに、原料ガスとして、 $\text{SiH}_4$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{Ar}$ 、 $\text{SiF}_4$ 、を用いて、高密度プラズマCVD法（HDPCVD法）により、 $\text{SiOF}$ 膜を形成する方法がある。この方法で形成された $\text{SiOF}$ 膜の比誘電率は、3.1~4.0（膜中のF濃度により異なる）であり、従来層間絶縁膜として用いられている $\text{SiO}_2$ の比誘電率4.0よりも小さな値となっている。

#### 【0005】②有機系低誘電率絶縁膜

$\text{SiOF}$ 膜に比べて小さい誘電率（3.0以下）を示す絶縁膜として、有機系低誘電率絶縁膜が注目されている。現在までに報告されている有機系低誘電率絶縁膜のいくつかと、その比誘電率、及び、その熱分解温度を表1に示す。

#### 【0006】

#### 【表1】

#### 【0009】

- 【課題を解決するための手段】上記課題は、第1の発明である、 $\text{Si}$ と $\text{C}$ を含む化合物をプラズマ重合させ、 $\text{Si}-\text{C}$ 膜、又は、 $\text{Si}-\text{C}-\text{H}$ 膜を被形成体上に形成し、前記 $\text{Si}-\text{C}$ 膜、又は、 $\text{Si}-\text{C}-\text{H}$ 膜を酸化することにより、多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜を形成する層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

- 【0010】または、第2の発明である、 $\text{Si}$ と $\text{C}$ を含む化合物と、 $\text{O}_2$ とをプラズマ重合させ、 $\text{Si}-\text{C}-\text{O}$ 膜、又は、 $\text{Si}-\text{C}-\text{O}-\text{H}$ 膜を被形成体上に形成し、前記 $\text{Si}-\text{C}-\text{O}$ 膜、又は、前記 $\text{Si}-\text{C}-\text{O}-\text{H}$ 膜を酸化することにより、多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜を形成する層間絶縁膜の形成方法によって解決する。または、第3の発明である、 $\text{Si}$ と $\text{C}$ を含む化合物と、 $\text{H}_2\text{O}$ とをプラズマ重合させ、 $\text{Si}-\text{C}-\text{O}-\text{H}$ 膜を被形成体上

に形成し、前記 $\text{Si}-\text{C}-\text{O}-\text{H}$ 膜を酸化、又はアニールすることにより、多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜を形成する層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0011】または、第4の発明である、 $\text{Si}$ と $\text{C}$ を含む化合物と、 $\text{B}$ と $\text{H}$ を含む化合物とをプラズマ重合させ、 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}$ 膜、又は、 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{H}$ 膜を被形成体上に形成し、前記 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}$ 膜、又は、前記 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{H}$ 膜を酸化することにより、多孔性を有する $\text{B}$ 含有の $\text{SiO}_2$ 膜を形成する層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0012】または、第5の発明である、 $\text{Si}$ と $\text{C}$ を含む化合物と、 $\text{B}$ と $\text{H}$ を含む化合物と、 $\text{O}_2$ とをプラズマ重合させ、 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}$ 膜、又は、 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}-\text{H}$ 膜を被形成体上に形成し、前記 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}$ 膜、又は、前記 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}-\text{H}$ 膜を酸化することにより、多孔性を有する $\text{B}$ 含有の $\text{SiO}_2$ 膜を形成する層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0013】または、第6の発明である、 $\text{Si}$ と $\text{C}$ を含む化合物と、 $\text{B}$ と $\text{H}$ を含む化合物と、 $\text{H}_2\text{O}$ とをプラズマ重合させ、 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}-\text{H}$ 膜を被形成体上に形成し、前記 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}-\text{H}$ 膜を酸化、又はアニールすることにより、多孔性を有する $\text{B}$ 含有の $\text{SiO}_2$ 膜を形成する層間絶縁膜の形成方法によって解決する。または、第7の発明である、 $\text{Si}$ と $\text{C}$ を含む化合物と、 $\text{C}$ と $\text{F}$ を含む化合物とをプラズマ重合させ、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}$ 膜、又は、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{H}$ 膜を被形成体上に形成し、前記 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}$ 膜、又は、前記 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{H}$ 膜を酸化することにより、多孔性を有する $\text{F}$ 含有の $\text{SiO}_2$ 膜を形成する層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0014】または、第8の発明である、 $\text{Si}$ と $\text{C}$ を含む化合物と、 $\text{C}$ と $\text{F}$ を含む化合物と、 $\text{O}_2$ とをプラズマ重合させ、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}$ 膜、又は、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}-\text{H}$ 膜を被形成体上に形成し、前記 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}$ 膜、又は、前記 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}-\text{H}$ 膜を酸化することにより、多孔性を有する $\text{F}$ 含有の $\text{SiO}_2$ 膜を形成する層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0015】または、第9の発明である、 $\text{Si}$ と $\text{C}$ を含む化合物と、 $\text{C}$ と $\text{F}$ を含む化合物と、 $\text{H}_2\text{O}$ とをプラズマ重合させ、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}-\text{H}$ 膜を被形成体上に形成し、前記 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}-\text{H}$ 膜を酸化することにより、多孔性を有する $\text{F}$ 含有の $\text{SiO}_2$ 膜を形成する層間絶縁膜の形成方法によって解決する。または、第10の発明である、前記 $\text{B}$ と $\text{H}$ を含む化合物は $\text{B}_2\text{H}_6$ 、 $\text{TM B}$  ( $\text{B}(\text{OCH}_3)_3$ )、 $\text{TE B}$  ( $\text{B}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$ )のいずれかであることを特徴とする第4の発明から第6の発明のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0016】または、第11の発明である、前記 $\text{C}$ と $\text{F}$ を含む化合物は $\text{C}_2\text{F}_6$ であることを特徴とする第7の発明から第9の発明のいずれかに記載の層間絶縁膜の形

成方法によって解決する。または、第12の発明である、前記 $\text{Si}$ と $\text{C}$ を含む化合物は $\text{TEOS}$ 、メチルシラン ( $\text{Si}(\text{CH}_3)_3\text{H}$ )、トリメチルシリルボレート ( $\{(\text{CH}_3)_3\text{SiO}\}_3\text{B}$ )のいずれかであることを特徴とする第1の発明から第11発明のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0017】または、第13の発明である、前記プラズマ重合を行うとき、不活性ガスを添加することの特徴とする第1の発明から第12の発明のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法によって解決する。または、第14の発明である、前記酸化は、 $\text{O}$  (酸素) プラズマにより行われることを特徴とする第1の発明から第13の発明のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0018】または、第15の発明である、被形成体上に前記層間絶縁膜を形成後、該層間絶縁膜を $\text{H}$  (水素) プラズマ処理することの特徴とする第1の発明から第14の発明のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法によって解決する。または、第16の発明である、被形成体上に下地絶縁膜を形成し、前記下地絶縁膜上に、前記層間絶縁膜を形成することの特徴とする第1の発明から第15の発明のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0019】または、第17の発明である、被形成体上に前記層間絶縁膜を形成した後、該層間絶縁膜に、パターンニングにより、ダマシ溝を形成し、前記ダマシ溝の側部にサイドウォール絶縁膜を形成し、前記ダマシ溝の内部に金属膜を埋め込み、前記金属膜上にバリヤメタル層を形成することの特徴とする第1の発明から第16の発明のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0020】または、第18の発明である、前記サイドウォール絶縁膜は、前記ダマシ溝を形成後、前記層間絶縁膜の上部、該ダマシ溝の側部、及び、該ダマシ溝の下部に第1の絶縁膜を形成し、前記第1の絶縁膜を、前記ダマシ溝の側部に形成された該第1の絶縁膜が残り、かつ、該ダマシ溝の底部に形成された該第1の絶縁膜が除去される程度に異方的にエッチングすることにより形成することの特徴とする第17の発明に記載の層間絶縁膜の形成方法によって解決する。

【0021】または、第19の発明である、前記層間絶縁膜を形成後、該層間絶縁膜上に、カバー絶縁膜を形成することの特徴とする第1の発明から第18の発明のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法によって解決する。または、第20の発明である、第1の発明から第19の発明のいずれかに記載の層間絶縁膜の形成方法により形成された層間絶縁膜を有する半導体装置によって解決する。

【0022】次に、本発明に係る層間絶縁膜について、表2を用いて説明する。本発明に係る多孔性を有す

10

20

30

40

50

る $\text{SiO}_2$ 膜を形成する場合は、反応ガスとして、TEOS、 $\text{TEOS} + \text{O}_3$ 、 $\text{TEOS} + \text{H}_2\text{O}$ を用いる。これらの反応ガスをプラズマ重合することにより、被形成体上に、 $\text{Si}-\text{C}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{H}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{O}$ 膜、又は $\text{Si}-\text{C}-\text{O}-\text{H}$ 膜が形成される。そして、これらの膜を $\text{O}$ （酸素）プラズマ処理することにより、膜中の $\text{C}$ 、又は $\text{H}$ が酸化される。膜中で $\text{C}$ 、又は $\text{H}$ が酸化され、抜けた部分では空隙が形成され、これにより、多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜が形成される。なお、上記のTEOSに代えて、メチルシラン( $\text{Si}(\text{CH}_3)_3$ ) 10を用いても、多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜を形成することができる。

【0023】また、本発明に係る多孔性を有する $\text{B}$ 含有の $\text{SiO}_2$ 膜を形成する場合は、反応ガスとして、TEOS+ $\text{B}_2\text{H}_6$ 、 $\text{TEOS} + \text{B}_2\text{H}_6 + \text{O}_3$ 、 $\text{TEOS} + \text{B}_2\text{H}_6 + \text{H}_2\text{O}$ を用いる。これらの反応ガスをプラズマ重合することにより、被形成体上に、 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{H}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}$ 膜、又は $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}-\text{H}$ 膜が形成される。そして、これらの膜を $\text{O}$ （酸素）プラズマ処理することにより、膜中の 20 $\text{C}$ 、又は $\text{H}$ が酸化される。膜中で $\text{C}$ 、又は $\text{H}$ が酸化され、抜けた部分では空隙が形成され、これにより、多孔性を有する $\text{B}$ 含有の $\text{SiO}_2$ 膜が形成される。なお、上記反応ガス中のTEOSに代えて、メチルシラン( $\text{Si}$

( $\text{CH}_3$ ) $_3$ )、又はトリメチルシリルボレート( $(\text{CH}_3)_3\text{SiO}(\text{B})$ )を用いても、多孔性を有する $\text{B}$ （ホウ素）含有の $\text{SiO}_2$ 膜を形成することができる。また、上記反応ガス中の $\text{B}_2\text{H}_6$ に代えて、 $\text{TM B}(\text{B}(\text{OCH}_3)_3)$ 、又は $\text{TEB}(\text{B}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3)$ を用いても、多孔性を有する $\text{B}$ （ホウ素）含有の $\text{SiO}_2$ 膜を形成することができる。

【0024】そして、本発明に係る多孔性を有する $\text{F}$ 含有の $\text{SiO}_2$ 膜を形成する場合は、反応ガスとして、TEOS+ $\text{C}_2\text{F}_6$ 、 $\text{TEOS} + \text{C}_2\text{F}_6 + \text{O}_3$ 、 $\text{TEOS} + \text{C}_2\text{F}_6 + \text{H}_2\text{O}$ を用いる。これらの反応ガスをプラズマ重合することにより、被形成体上に、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{H}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}$ 膜、又は $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}-\text{H}$ 膜が形成される。そして、これらの膜を $\text{O}$ （酸素）プラズマ処理することにより、膜中の $\text{C}$ 、又は $\text{H}$ が酸化される。膜中で $\text{C}$ 、又は $\text{H}$ が酸化され、抜けた部分では空隙が形成され、これにより、多孔性を有する $\text{F}$ 含有の $\text{SiO}_2$ 膜が形成される。なお、上記のTEOSに代えて、メチルシラン( $\text{Si}(\text{CH}_3)_3$ )を用いても多孔性を有する $\text{F}$ 含有の $\text{SiO}_2$ 膜を形成することができる。

【0025】

【表2】

多孔性を有する膜	反応ガス	プラズマ重合により得られる膜
$\text{SiO}_2$ 膜	TEOS	$\text{Si}-\text{C}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{H}$ 膜
	$\text{TEOS} + \text{O}_2$	$\text{Si}-\text{C}-\text{O}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{O}-\text{H}$ 膜
	$\text{TEOS} + \text{H}_2\text{O}$	$\text{Si}-\text{C}-\text{O}-\text{H}$ 膜
$\text{B}$ 含有 $\text{SiO}_2$ 膜	$\text{TEOS} + \text{B}_2\text{H}_6$	$\text{Si}-\text{C}-\text{B}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{H}$ 膜
	$\text{TEOS} + \text{B}_2\text{H}_6 + \text{O}_2$	$\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}-\text{H}$ 膜
	$\text{TEOS} + \text{B}_2\text{H}_6 + \text{H}_2\text{O}$	$\text{Si}-\text{C}-\text{B}-\text{O}-\text{H}$ 膜
$\text{F}$ 含有 $\text{SiO}_2$ 膜	$\text{TEOS} + \text{C}_2\text{F}_6$	$\text{Si}-\text{C}-\text{F}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{H}$ 膜
	$\text{TEOS} + \text{C}_2\text{F}_6 + \text{O}_2$	$\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}$ 膜、 $\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}-\text{H}$ 膜
	$\text{TEOS} + \text{C}_2\text{F}_6 + \text{H}_2\text{O}$	$\text{Si}-\text{C}-\text{F}-\text{O}-\text{H}$ 膜

注1) 上記反応ガス中のTEOSに代えて、メチルシラン( $\text{Si}(\text{CH}_3)_3$ )を用いても多孔性を有する膜を形成することができる。

注2)  $\text{B}$ 含有 $\text{SiO}_2$ 膜を形成する場合は、TEOSの代わりにメチルシラン( $\text{Si}(\text{CH}_3)_3$ )を用いても良いし、また、トリメチルシリルボレート( $(\text{CH}_3)_3\text{SiO}(\text{B})$ )を用いても、多孔性を有する $\text{B}$ 含有 $\text{SiO}_2$ 膜を形成することができる。更に、 $\text{B}_2\text{H}_6$ に代えて、 $\text{TM B}(\text{B}(\text{OCH}_3)_3)$ 、 $\text{TEB}(\text{B}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3)$ を用いても、多孔性を有する $\text{B}$ 含有 $\text{SiO}_2$ 膜を形成することができる。

【0026】

【発明の実施の形態】次に、図面を参照しながら、本発明の実施の形態について説明する。

（第1の実施の形態）図1の(a)～(d)、及び、図2の(a)～(d)は、第1の実施の形態を説明するための断面図である。

【0027】まず、図1(a)に示すように、シリコン基板101上にBP SG(borophosphosi 50

licate glass)膜102を形成する。そして、BP SG膜102上にアルミニウム膜を形成後、それをパターニングしてアルミニウム配線層103を形成する。このように形成されたシリコン基板101、BP SG膜102、及び、アルミニウム配線層103により、被形成体104が構成される。

【0028】次に、図1(b)に示すように、被形成体104の上に $\text{SiO}_2$ 膜105（下地絶縁膜）を形成

する。この $\text{SiO}_2$ 膜105は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。この $\text{SiO}_2$ 膜105の膜厚は1000Åである。この $\text{SiO}_2$ 膜105により、 $\text{H}_2\text{O}$ がアルミニウム配線層103に拡散し、腐食するのを防ぐことができる。

【0029】続いて、図1(c)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜105(下地絶縁膜)の上に、炭素、又は、炭素と水素とを含む膜(以下、 $\text{Si-C}(-\text{H})$ と書く)106を形成する。この $\text{Si-C}(-\text{H})$ 膜106は、反応ガスとしてTEOS(Tetra-Ethyl-Ortho-Silicate)を用い、シリコン基板101を100℃に保持しながら、周波数が13.56MHzであるRF電圧を印加し、圧力が1Torrの下で形成される。この $\text{Si-C}(-\text{H})$ 膜106の膜厚は5000Åである。

【0030】次に、図1(d)に示すように、 $\text{Si-C}(-\text{H})$ 膜106に対し $\text{O}$ (酸素)プラズマ処理を行う。これにより、 $\text{Si-C}(-\text{H})$ 膜106に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、 $\text{Si-O}$ 結合が形成される。これにより、 $\text{Si-C}(-\text{H})$ 膜106は多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜107となる。

【0031】続いて、図2(a)に示すように、多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜107に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面の $\text{Si-O}$ 結合中のSiのダングリングボンドが $\text{Si-H}$ 結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図2(b)に示すように、多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜107の上に、 $\text{SiO}_2$ 膜108を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜108は、反応ガスとしてTEOSと、 $\text{O}_3$ とを含むCVD法(化学的気相成長法)により形成される。このとき、反応ガス中に含まれる $\text{O}_3$ の濃度はTEOSを酸化するのに十分な濃度であるため、 $\text{SiO}_2$ 膜108は流動性を示し、かなりの平坦化を実現できる。

【0032】次に、図2(c)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜108をCMP法により研磨し、表面を平坦化する。このとき、先に形成された $\text{SiO}_2$ 膜105の一部、及び、 $\text{SiO}_2$ 膜107の一部が研磨により除去される。CMPによる平坦化は、アルミニウム配線層の凸部103a上に形成された $\text{SiO}_2$ 膜105が、完全に除去されてしまわない程度に行う。

【0033】続いて、図2(d)に示すように、平坦化された表面上に、 $\text{SiO}_2$ 膜109(カバー絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜109は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。この $\text{SiO}_2$ 膜109の膜厚は1000Åである。以上のように形成された $\text{SiO}_2$ 膜105(下地絶縁膜)、107、及び、109(カバー絶縁膜)により、被形成体104上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわ

ち、 $\text{SiO}_2$ 膜107が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常の $\text{SiO}_2$ 膜よりも小さくなる。また、多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜107の上部に通常の $\text{SiO}_2$ 膜109が形成されているため、 $\text{SiO}_2$ 膜107の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、 $\text{SiO}_2$ 膜105、107、109は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0034】(第2の実施の形態) 第2の実施の形態は、第1の実施の形態をダマシンプロセスに適用したものである。図3(a)~(d)、図4(a)~(d)、図5(a)~(d)、及び、図6(a)は第2の実施の形態を説明するための断面図である。

【0035】まず、図3(a)に示すように、シリコン基板201上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜202を形成し、その上にアルミニウム層を形成した後パターニングすることにより、アルミニウム配線層203を形成する。これらが被形成体204となる。図3(b)に示すように、アルミニウム配線層203の上に膜厚が1000Åの $\text{SiO}_2$ 膜205(下地絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜205はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。

【0036】続いて、図3(c)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜205(下地絶縁膜)の上に、 $\text{Si-C}(-\text{H})$ 膜206を形成する。この $\text{Si-C}(-\text{H})$ 膜206は、反応ガスとしてTEOS(Tetra-Ethyl-Ortho-Silicate)を用い、シリコン基板101を100℃に保持しながら、周波数が13.56MHzであるRF電圧を印加し、圧力が1Torrの下で形成される。この $\text{Si-C}(-\text{H})$ 膜106の膜厚は5000Åである。

【0037】次に、図3(d)に示すように、 $\text{Si-C}(-\text{H})$ 膜206に対し $\text{O}$ (酸素)プラズマ処理を行う。これにより、 $\text{Si-C}(-\text{H})$ 膜206に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、 $\text{Si-O}$ 結合が形成される。これにより、 $\text{Si-C}(-\text{H})$ 膜206は多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜207となる。

【0038】続いて、図4(a)に示すように、多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜207に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面の $\text{Si-O}$ 結合中のSiのダングリングボンドが $\text{Si-H}$ 結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図4(b)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜207をパターニングにより開孔し、ダマシン溝208を形成する。このダマシン溝208は、 $\text{SiO}_2$ 膜207の下部に形成されている $\text{SiO}_2$ 膜205まで通じている。

【0039】次に、図4(c)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜207の上部、及び、ダマシン溝208の側部と下部に $\text{SiO}_2$ 膜209(第1の絶縁膜)を形成する。こ

の $\text{SiO}_2$ 膜209は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。ダマシン溝208の側部に形成される $\text{SiO}_2$ 膜209により、後でダマシン溝208の内部に埋め込まれるCuが、多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜207の内部に拡散するのを防ぐことができる。

【0040】次に、図4(d)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜209(第1の絶縁膜)、及び、ダマシン溝208の下部に形成されている $\text{SiO}_2$ 膜205(下地絶縁膜)を異方的にエッチングする。これにより、 $\text{SiO}_2$ 膜209は、ダマシン溝208の側部に形成されたものを残して除去されることになる。また、ダマシン溝208の下部に形成されている $\text{SiO}_2$ 膜205が除去されるため、ダマシン溝208の下部に、アルミニウム配線層203に通じるコンタクトホールが形成される。

【0041】続いて、図5(a)に示すように、ダマシン溝208の内部、及び、 $\text{SiO}_2$ 膜207の上部にCuメッキ膜210を形成する。ダマシン溝208の内部に形成されるCuメッキ膜210は、Cu配線として用いられるものである。次に、図5(b)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜207の上部に形成されたCuメッキ膜210を、CMP法により研磨し、除去する。これにより、ダマシン溝208の内部にのみCuメッキ膜が残ることになる。

【0042】続いて、図5(c)に示すように、ダマシン溝208上部にバリヤメタル用のTiN膜211を形成する。これにより、ダマシン溝208の内部のCuが、後でダマシン溝208の上部に形成される $\text{SiO}_2$ 膜の膜中に拡散するのを防ぐことができる。次に、図5(d)に示すように、パターニングにより、ダマシン溝208の上部に形成されたTiN膜211aを残して、他の部分に形成されたTiN膜211をエッチングして除去する。

【0043】続いて、図6(a)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜207及びTiN膜211aの上部に、 $\text{SiO}_2$ 膜212(カバー絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜212はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。以上により、被形成体204の上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわち、 $\text{SiO}_2$ 膜207が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常の $\text{SiO}_2$ 膜よりも小さくなる。また、多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜207の上部に通常の $\text{SiO}_2$ 膜212(カバー絶縁膜)が形成されているため、 $\text{SiO}_2$ 膜207の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、 $\text{SiO}_2$ 膜207と212は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0044】(第3の実施の形態)図1の(a)～(d)、及び、図2の(a)～(d)は、第3の実施の形態を説明するための断面図である。まず、図1(a)

に示すように、シリコン基板101上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜102を形成する。そして、BPSG膜102上にアルミニウム膜を形成後、それをパターニングしてアルミニウム配線層103を形成する。このように形成されたシリコン基板101、BPSG膜102、及び、アルミニウム配線層103により、被形成体104が構成される。

【0045】次に、図1(b)に示すように、被形成体104の上に $\text{SiO}_2$ 膜105(下地絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜105は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。この $\text{SiO}_2$ 膜105の膜厚は1000Åである。この $\text{SiO}_2$ 膜105により、 $\text{H}_2\text{O}$ がアルミニウム配線層103に拡散し、腐食するのを防ぐことができる。

【0046】続いて、図1(c)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜105(下地絶縁膜)の上に、炭素、又は、炭素と水素を含む膜(以下、 $\text{Si-C}(-\text{H})$ と書く)106を形成する。この $\text{Si-C}(-\text{H})$ 膜106は、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{H}_2\text{O}$ とを用い、シリコン基板101を100℃に保持しながら、周波数が13.56MHzで、パワーが300WであるRF電圧を印加し、圧力が1Torrの下で形成される。このときの反応ガスの流量は、 $\text{SiH}_4$ が30sccmであり、 $\text{H}_2\text{O}$ が60sccmである。この $\text{Si-C}(-\text{H})$ 膜106の膜厚は5000Åである。

【0047】次に、図1(d)に示すように、 $\text{Si-C}(-\text{H})$ 膜106に対し $\text{O}$ (酸素)プラズマ処理を行う。これにより、 $\text{Si-C}(-\text{H})$ 膜106に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、 $\text{Si-O}$ 結合が形成される。これにより、 $\text{Si-C}(-\text{H})$ 膜106は多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜107となる。

【0048】続いて、図2(a)に示すように、多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜107に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面の $\text{Si-O}$ 結合中のSiのダングリングボンドが $\text{Si-H}$ 結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図2(b)に示すように、多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜107の上に、 $\text{SiO}_2$ 膜108を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜108は、反応ガスとしてTEOSと、 $\text{O}_3$ を含むCVD法(化学的気相成長法)により形成される。このとき、反応ガス中に含まれる $\text{O}_3$ の濃度はTEOSを酸化するのに十分な濃度であるため、 $\text{SiO}_2$ 膜108は流動性を示し、かなりの平坦化を実現できる。

【0049】次に、図2(c)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜108をCMP法により研磨し、表面を平坦化する。このとき、先に形成された $\text{SiO}_2$ 膜105の一部、及び、 $\text{SiO}_2$ 膜107の一部が研磨により除去される。CMPによる平坦化は、アルミニウム配線層の凸



部103a上に形成された $\text{SiO}_2$ 膜105が、完全に除去されてしまわない程度に行う。

【0050】続いて、図2(d)に示すように、平坦化された表面上に、 $\text{SiO}_2$ 膜109(カバー絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜108は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。この $\text{SiO}_2$ 膜109の膜厚は1000Åである。以上のように形成された $\text{SiO}_2$ 膜105(下地絶縁膜)、107、及び、109(カバー絶縁膜)により、被形成体104上に耐熱性、及び、耐吸湿性の低い誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわち、 $\text{SiO}_2$ 膜107が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常の $\text{SiO}_2$ 膜よりも小さくなる。また、多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜107の上部に通常の $\text{SiO}_2$ 膜109が形成されているため、 $\text{SiO}_2$ 膜107の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、 $\text{SiO}_2$ 膜105、107、109は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0051】(第4の実施の形態)第4の実施の形態は、第3の実施の形態をダマシンプロセスに適用したものである。図3の(a)~(d)、図4の(a)~(d)、図5の(a)~(d)、及び、図6の(a)は第2の実施の形態を説明するための断面図である。

【0052】まず、図3(a)に示すように、シリコン基板201上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜202を形成し、その上にアルミニウム層を形成した後パターニングすることにより、アルミニウム配線層203を形成する。これらが被形成体204となる。図3(b)に示すように、アルミニウム配線層203の上に膜厚が1000Åの $\text{SiO}_2$ 膜205(下地絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜205はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。

【0053】続いて、図3(c)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜205(下地絶縁膜)の上に、 $\text{Si}-\text{C}(-\text{H})$ 膜206を形成する。この $\text{Si}-\text{C}(-\text{H})$ 膜206は、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{H}_2\text{O}$ とを用い、シリコン基板101を100℃に保持しながら、周波数が13.56MHzで、パワーが300WであるRF電圧を印加し、圧力が1Torrの下で形成される。このときの反応ガスの流量は、 $\text{SiH}_4$ が30sccmであり、 $\text{H}_2\text{O}$ が60sccmである。この $\text{Si}-\text{C}(-\text{H})$ 膜106の膜厚は5000Åである。

【0054】次に、図3(d)に示すように、 $\text{Si}-\text{C}(-\text{H})$ 膜206に対し $\text{O}$ (酸素)プラズマ処理を行う。これにより、 $\text{Si}-\text{C}(-\text{H})$ 膜206に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、 $\text{Si}-\text{O}$ 結合が形成される。これにより、 $\text{Si}-\text{C}(-\text{H})$ 膜206は多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜207となる。

【0055】続いて、図4(a)に示すように、多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜207に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面の $\text{Si}-\text{O}$ 結合中のSiのダングリングボンドが $\text{Si}-\text{H}$ 結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図4(b)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜207をパターニングにより開孔し、ダマシン溝208を形成する。このダマシン溝208は、 $\text{SiO}_2$ 膜207の下部に形成されている $\text{SiO}_2$ 膜205まで通じている。

【0056】次に、図4(c)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜207の上部、及び、ダマシン溝208の側部と下部に $\text{SiO}_2$ 膜209(第1の絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜209は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。ダマシン溝208の側部に形成される $\text{SiO}_2$ 膜209により、後でダマシン溝208の内部に埋め込まれるCuが、多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜207の内部に拡散するのを防ぐことができる。

【0057】次に、図4(d)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜209(第1の絶縁膜)、及び、ダマシン溝208の下部に形成されている $\text{SiO}_2$ 膜205(下地絶縁膜)を異方的にエッチングする。これにより、 $\text{SiO}_2$ 膜209は、ダマシン溝208の側部に形成されたものを残して除去されることになる。また、ダマシン溝208の下部に形成されている $\text{SiO}_2$ 膜205が除去されるため、ダマシン溝208の下部に、アルミニウム配線層203に通じるコンタクトホールが形成される。

【0058】続いて、図5(a)に示すように、ダマシン溝208の内部、及び、 $\text{SiO}_2$ 膜207の上部にCuメッキ膜210を形成する。ダマシン溝208の内部に形成されるCuメッキ膜210は、Cu配線として用いられるものである。次に、図5(b)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜207の上部に形成されたCuメッキ膜210を、CMP法により研磨し、除去する。これにより、ダマシン溝208の内部にのみCuメッキ膜が残ることになる。

【0059】続いて、図5(c)に示すように、ダマシン溝208上部にバリヤメタル用のTiN膜211を形成する。これにより、ダマシン溝208の内部のCuが、後でダマシン溝208の上部に形成される $\text{SiO}_2$ 膜の膜中に拡散するのを防ぐことができる。次に、図5(d)に示すように、パターニングにより、ダマシン溝208の上部に形成されたTiN膜211aを残して、他の部分に形成されたTiN膜211をエッチングして除去する。

【0060】続いて、図6(a)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜207及びTiN膜211aの上部に、 $\text{SiO}_2$ 膜212(カバー絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜212はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。以上により、被形成体2

04の上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわち、 $\text{SiO}_2$ 膜207が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常の $\text{SiO}_2$ 膜よりも小さくなる。また、多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜207の上部に通常の $\text{SiO}_2$ 膜212(カバー絶縁膜)が形成されているため、 $\text{SiO}_2$ 膜207の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、 $\text{SiO}_2$ 膜207と212は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0061】(第5の実施の形態)第5の実施の形態が第1から第4の実施の形態と異なる点は、TEOSと $\text{O}_2$ とをプラズマ重合させることにより、炭素と酸素、又は、炭素と酸素と水素とを含む膜(以下、 $\text{Si}-\text{C}-\text{O}(-\text{H})$ 膜と書く)を形成する点である。図1の(a)~(d)、及び、図2の(a)~(d)は、第5の実施の形態を説明するための断面図である。

【0062】まず、図1(a)に示すように、シリコン基板101上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜102を形成する。そして、BPSG膜102上にアルミニウム膜を形成後、それをパターニングしてアルミニウム配線層103を形成する。このように形成されたシリコン基板101、BPSG膜102、及び、アルミニウム配線層103により、被形成体104が構成される。

【0063】次に、図1(b)に示すように、被形成体104の上に $\text{SiO}_2$ 膜105(下地絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜105は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。この $\text{SiO}_2$ 膜105の膜厚は1000Åである。この $\text{SiO}_2$ 膜105により、 $\text{H}_2\text{O}$ がアルミニウム配線層103に拡散し、腐食するのを防ぐことができる。

【0064】続いて、図1(c)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜105(下地絶縁膜)の上に、 $\text{Si}-\text{C}-\text{O}(-\text{H})$ 膜106を形成する。この $\text{Si}-\text{C}-\text{O}(-\text{H})$ 膜106は、TEOSと $\text{O}_2$ とをプラズマ重合させることにより形成される。このときの反応ガスの流量は、TEOSが30sccmであり、 $\text{O}_2$ が240sccmである。この $\text{Si}-\text{C}-\text{O}(-\text{H})$ 膜106の膜厚は500Åである。

【0065】次に、図1(d)に示すように、 $\text{Si}-\text{C}-\text{O}(-\text{H})$ 膜106に対し $\text{O}$ (酸素)プラズマ処理を行う。これにより、 $\text{Si}-\text{C}-\text{O}(-\text{H})$ 膜106に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、 $\text{Si}-\text{O}$ 結合が形成される。これにより、 $\text{Si}-\text{C}-\text{O}(-\text{H})$ 膜106は多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜107となる。

【0066】続いて、図2(a)に示すように、多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜107に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面の $\text{Si}-\text{O}$ 結合中

の $\text{Si}$ のダングリングボンドが $\text{Si}-\text{H}$ 結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図2(b)に示すように、多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜107の上に、 $\text{SiO}_2$ 膜108を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜108は、反応ガスとしてTEOSと、 $\text{O}_3$ とを含むCVD法(化学的気相成長法)により形成される。このとき、反応ガス中に含まれる $\text{O}_3$ の濃度はTEOSを酸化するのに十分な濃度であるため、 $\text{SiO}_2$ 膜108は流動性を示し、かなりの平坦化を実現できる。

【0067】次に、図2(c)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜108をCMP法により研磨し、表面を平坦化する。このとき、先に形成された $\text{SiO}_2$ 膜105の一部、及び、 $\text{SiO}_2$ 膜107の一部が研磨により除去される。CMPによる平坦化は、アルミニウム配線層の凸部103a上に形成された $\text{SiO}_2$ 膜105が、完全に除去されてしまわない程度に行う。

【0068】続いて、図2(d)に示すように、平坦化された表面上に、 $\text{SiO}_2$ 膜109(カバー絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜109は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。この $\text{SiO}_2$ 膜109の膜厚は1000Åである。以上のように形成された $\text{SiO}_2$ 膜105(下地絶縁膜)、107、及び、109(カバー絶縁膜)により、被形成体104上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわち、 $\text{SiO}_2$ 膜107が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常の $\text{SiO}_2$ 膜よりも小さくなる。また、多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜107の上部に通常の $\text{SiO}_2$ 膜109が形成されているため、 $\text{SiO}_2$ 膜107の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、 $\text{SiO}_2$ 膜105、107、109は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0069】(第6の実施の形態)第6の実施の形態は、第5の実施の形態をダマシンプロセスに適用したものである。図3の(a)~(d)、図4の(a)~(d)、図5の(a)~(d)、及び、図6の(a)は第6の実施の形態を説明するための断面図である。

【0070】まず、図3(a)に示すように、シリコン基板201上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜202を形成し、その上にアルミニウム層を形成した後パターニングすることにより、アルミニウム配線層203を形成する。これらが被形成体204となる。図3(b)に示すように、アルミニウム配線層203の上に膜厚が1000Åの $\text{SiO}_2$ 膜205(下地絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜205はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。

【0071】続いて、図3(c)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜205(下地絶縁膜)の上に、 $\text{Si}-\text{C}-\text{O}(-\text{H})$ 膜206を形成する。この $\text{Si}-\text{C}-\text{O}(-\text{H})$ 膜

206は、TEOSとO<sub>2</sub>とをプラズマ重合させることにより形成される。このときの反応ガスの流量は、TEOSが30sccmであり、O<sub>2</sub>が240sccmである。このSi-C-O(-H)膜106の膜厚は500Åである。

【0072】次に、図3(d)に示すように、Si-C-O(-H)膜206に対しO(酸素)プラズマ処理を行う。これにより、Si-C-O(-H)膜206に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、Si-O結合が形成される。これにより、Si-C-O(-H)膜206は多孔性を有するSiO<sub>2</sub>膜207となる。

【0073】続いて、図4(a)に示すように、多孔性を有するSiO<sub>2</sub>膜207に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面のSi-O結合中のSiのダングリングボンドがSi-H結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図4(b)に示すように、SiO<sub>2</sub>膜207をパターンニングにより開孔し、ダマシン溝208を形成する。このダマシン溝208は、SiO<sub>2</sub>膜207の下部に形成されているSiO<sub>2</sub>膜205まで通じている。

【0074】次に、図4(c)に示すように、SiO<sub>2</sub>膜207の上部、及び、ダマシン溝208の側部と下部にSiO<sub>2</sub>膜209(第1の絶縁膜)を形成する。このSiO<sub>2</sub>膜209は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>Oを用いる。ダマシン溝208の側部に形成されるSiO<sub>2</sub>膜209により、後でダマシン溝208の内部に埋め込まれるCuが、多孔性を有するSiO<sub>2</sub>膜207の内部に拡散するのを防ぐことができる。

【0075】次に、図4(d)に示すように、SiO<sub>2</sub>膜209(第1の絶縁膜)、及び、ダマシン溝208の下部に形成されているSiO<sub>2</sub>膜205(下地絶縁膜)を異方的にエッチングする。これにより、SiO<sub>2</sub>膜209は、ダマシン溝208の側部に形成されたものを残して除去されることになる。また、ダマシン溝208の下部に形成されているSiO<sub>2</sub>膜205が除去されるため、ダマシン溝208の下部に、アルミニウム配線層203に通じるコンタクトホールが形成される。

【0076】続いて、図5(a)に示すように、ダマシン溝208の内部、及び、SiO<sub>2</sub>膜207の上部にCuメッキ膜210を形成する。ダマシン溝208の内部に形成されるCuメッキ膜210は、Cu配線として用いられるものである。次に、図5(b)に示すように、SiO<sub>2</sub>膜207の上部に形成されたCuメッキ膜210を、CMP法により研磨し、除去する。これにより、ダマシン溝208の内部にのみCuメッキ膜が残ることになる。

【0077】続いて、図5(c)に示すように、ダマシ

ン溝208上部にバリヤメタル用のTiN膜211を形成する。これにより、ダマシン溝208の内部のCuが、後でダマシン溝208の上部に形成されるSiO<sub>2</sub>膜の膜中に拡散するのを防ぐことができる。次に、図5(d)に示すように、パターンニングにより、ダマシン溝208の上部に形成されたTiN膜211aを残して、他の部分に形成されたTiN膜211をエッチングして除去する。

【0078】続いて、図6(a)に示すように、SiO<sub>2</sub>膜207及びTiN膜211aの上部に、SiO<sub>2</sub>膜212(カバー絶縁膜)を形成する。このSiO<sub>2</sub>膜212はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>Oを用いる。以上により、被形成体204の上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわち、SiO<sub>2</sub>膜207が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常のSiO<sub>2</sub>膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するSiO<sub>2</sub>膜207の上部に通常のSiO<sub>2</sub>膜212(カバー絶縁膜)が形成されているため、SiO<sub>2</sub>膜207の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、SiO<sub>2</sub>膜207と212は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0079】(第7の実施の形態) 第7の実施の形態が、第1の実施の形態から第6の実施の形態と異なる点は、多孔性を有するSiO<sub>2</sub>膜を形成する代わりに、多孔性を有するB含有のSiO<sub>2</sub>膜を形成する点である。図1の(a)~(d)、及び、図2の(a)~(d)は、第5の実施の形態を説明するための断面図である。

【0080】まず、図1(a)に示すように、シリコン基板101上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜102を形成する。そして、BPSG膜102上にアルミニウム膜を形成後、それをパターンニングしてアルミニウム配線層103を形成する。このように形成されたシリコン基板101、BPSG膜102、及び、アルミニウム配線層103により、被形成体104が構成される。

【0081】次に、図1(b)に示すように、被形成体104の上にSiO<sub>2</sub>膜105(下地絶縁膜)を形成する。このSiO<sub>2</sub>膜105は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>Oを用いる。このSiO<sub>2</sub>膜105の膜厚は1000Åである。このSiO<sub>2</sub>膜105により、H<sub>2</sub>Oがアルミニウム配線層103に拡散し、腐食するのを防ぐことができる。

【0082】続いて、図1(c)に示すように、SiO<sub>2</sub>膜105(下地絶縁膜)の上に、炭素とホウ素、又は、炭素とホウ素と水素とを含む膜(以下、Si-C-B(-H)膜と書く)106を形成する。このSi-C-B(-H)膜106は、反応ガスとしてTEOSとB<sub>2</sub>H<sub>6</sub>とを用い、シリコン基板101を100℃に保持しながら、周波数が13.56MHzであるRF電圧を

印加し、圧力が1 Torrの下で形成される。このときの反応ガスの流量は、TEOSが30 sccmであり、 $B_2H_6$ が24 sccmである。このSi-C-B(-H)膜106の膜厚は5000 Åである。

【0083】次に、図1(d)に示すように、Si-C-B(-H)膜106に対しO(酸素)プラズマ処理を行う。これにより、Si-C-B(-H)膜106に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、Si-O結合が形成される。これにより、Si-C-B(-H)膜106は、多孔性を有するB含有のSiO<sub>2</sub>膜107となる。

【0084】続いて、図2(a)に示すように、多孔性を有するB含有のSiO<sub>2</sub>膜107に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面のSi-O結合中のSiのダングリングボンドがSi-H結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図2

(b)に示すように、多孔性を有するB含有のSiO<sub>2</sub>膜107の上に、SiO<sub>2</sub>膜108を形成する。このSiO<sub>2</sub>膜108は、反応ガスとしてTEOSと、O<sub>3</sub>とを含むCVD法(化学的気相成長法)により形成される。このとき、反応ガス中に含まれるO<sub>3</sub>の濃度はTEOSを酸化するのに十分な濃度であるため、SiO<sub>2</sub>膜108は流動性を示し、かなりの平坦化を実現できる。

【0085】次に、図2(c)に示すように、SiO<sub>2</sub>膜108をCMP法により研磨し、表面を平坦化する。このとき、先に形成されたSiO<sub>2</sub>膜105の一部、及び、B含有のSiO<sub>2</sub>膜107の一部が研磨により除去される。CMPによる平坦化は、アルミニウム配線層の凸部103a上に形成されたSiO<sub>2</sub>膜105が、完全に除去されてしまわない程度に行う。

【0086】続いて、図2(d)に示すように、平坦化された表面上に、SiO<sub>2</sub>膜109(カバー絶縁膜)を形成する。このSiO<sub>2</sub>膜109は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>Oを用いる。このSiO<sub>2</sub>膜109の膜厚は1000 Åである。以上のように形成されたSiO<sub>2</sub>膜105(下地絶縁膜)、109(カバー絶縁膜)、及び、B含有のSiO<sub>2</sub>膜107により、被形成体104上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわち、B含有のSiO<sub>2</sub>膜107が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常のSiO<sub>2</sub>膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するB含有のSiO<sub>2</sub>膜107の上部に通常のSiO<sub>2</sub>膜109が形成されているため、B含有のSiO<sub>2</sub>膜107の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、SiO<sub>2</sub>膜105、109、及び、B含有のSiO<sub>2</sub>膜107は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0087】(第8の実施の形態)第8の実施の形態は、第7の実施の形態をダマシンプロセスに適用したも

のである。図3の(a)~(d)、図4の(a)~(d)、図5の(a)~(d)、及び、図6の(a)は第8の実施の形態を説明するための断面図である。

【0088】まず、図3(a)に示すように、シリコン基板201上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜202を形成し、その上にアルミニウム層を形成した後パターンニングすることにより、アルミニウム配線層203を形成する。これらが被形成体204となる。図3(b)に示すように、アルミニウム配線層203の上に膜厚が1000 ÅのSiO<sub>2</sub>膜205(下地絶縁膜)を形成する。このSiO<sub>2</sub>膜205はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>Oを用いる。

【0089】続いて、図3(c)に示すように、SiO<sub>2</sub>膜205(下地絶縁膜)の上に、Si-C-B(-H)膜206を形成する。このSi-C-B(-H)膜206は、反応ガスとしてTEOS(Tetra-Ethyl-Ortho-Silicate)とB<sub>2</sub>H<sub>6</sub>を用い、シリコン基板101を100℃に保持しながら、周波数が13.56 MHzであるRF電圧を印加し、圧力が1 Torrの下で形成される。このときの反応ガスの流量は、TEOSが30 sccmであり、B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>が24 sccmである。このSi-C-B(-H)膜106の膜厚は5000 Åである。

【0090】次に、図3(d)に示すように、Si-C-B(-H)膜206に対しO(酸素)プラズマ処理を行う。これにより、Si-C-B(-H)膜206に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、Si-O結合が形成される。これにより、Si-C-B(-H)膜206は多孔性を有するB含有のSiO<sub>2</sub>膜207となる。

【0091】続いて、図4(a)に示すように、多孔性を有するB含有のSiO<sub>2</sub>膜207に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面のSi-O結合中のSiのダングリングボンドがSi-H結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図4

(b)に示すように、B含有SiO<sub>2</sub>膜207をパターンニングにより開孔し、ダマシン溝208を形成する。このダマシン溝208は、B含有のSiO<sub>2</sub>膜207の下部に形成されているSiO<sub>2</sub>膜205まで通じている。

【0092】次に、図4(c)に示すように、B含有のSiO<sub>2</sub>膜207の上部、及び、ダマシン溝208の側部と下部にSiO<sub>2</sub>膜209(第1の絶縁膜)を形成する。このSiO<sub>2</sub>膜209は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>Oを用いる。ダマシン溝208の側部に形成されるSiO<sub>2</sub>膜209により、後でダマシン溝208の内部に埋め込まれるCuが、多孔性を有するB含有のSiO<sub>2</sub>膜207の内部に拡散するのを防ぐことができる。

【0093】次ぎに、図4(d)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜209(第1の絶縁膜)、及び、ダマシン溝208の下部に形成されている $\text{SiO}_2$ 膜205(下地絶縁膜)を異方的にエッチングする。これにより、 $\text{SiO}_2$ 膜209は、ダマシン溝208の側部に形成されたものを残して除去されることになる。また、ダマシン溝208の下部に形成されている $\text{SiO}_2$ 膜205が除去されるため、ダマシン溝208の下部に、アルミニウム配線層203に通じるコンタクトホールが形成される。

【0094】続いて、図5(a)に示すように、ダマシン溝208の内部、及び、B含有の $\text{SiO}_2$ 膜207の上部にCuメッキ膜210を形成する。ダマシン溝208の内部に形成されるCuメッキ膜210は、Cu配線として用いられるものである。次ぎに、図5(b)に示すように、B含有の $\text{SiO}_2$ 膜207の上部に形成されたCuメッキ膜210を、CMP法により研磨し、除去する。これにより、ダマシン溝208の内部にのみCuメッキ膜が残ることになる。

【0095】続いて、図5(c)に示すように、ダマシン溝208上部にバリヤメタル用のTiN膜211を形成する。これにより、ダマシン溝208の内部のCuが、後でダマシン溝208の上部に形成される $\text{SiO}_2$ 膜の膜中に拡散するのを防ぐことができる。次ぎに、図5(d)に示すように、パターンニングにより、ダマシン溝208の上部に形成されたTiN膜211aを残して、他の部分に形成されたTiN膜211をエッチングして除去する。

【0096】続いて、図6(a)に示すように、B含有の $\text{SiO}_2$ 膜207及びTiN膜211aの上部に、 $\text{SiO}_2$ 膜212(カバー絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜212はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。以上により、被形成体204の上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわち、B含有の $\text{SiO}_2$ 膜207が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常の $\text{SiO}_2$ 膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するB含有の $\text{SiO}_2$ 膜207の上部に通常の $\text{SiO}_2$ 膜212(カバー絶縁膜)が形成されているため、B含有の $\text{SiO}_2$ 膜207の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、B含有の $\text{SiO}_2$ 膜207と $\text{SiO}_2$ 膜212は、有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0097】(第9の実施の形態)第9の実施の形態は、多孔性を有するB含有の $\text{SiO}_2$ 膜を形成するために、炭素とホウ素と酸素、又は、炭素とホウ素と酸素及び水素を含む膜(以下、 $\text{Si-C-B-O}$ (-H)膜と書く)を形成する。図1の(a)~(d)、及び、図2の(a)~(d)は、第9の実施の形態を説明するための断面図である。

【0098】まず、図1(a)に示すように、シリコン

基板101上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜102を形成する。そして、BPSG膜102上にアルミニウム膜を形成後、それをパターンニングしてアルミニウム配線層103を形成する。このように形成されたシリコン基板101、BPSG膜102、及び、アルミニウム配線層103により、被形成体104が構成される。

【0099】次ぎに、図1(b)に示すように、被形成体104の上に $\text{SiO}_2$ 膜105(下地絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜105は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。この $\text{SiO}_2$ 膜105の膜厚は1000Åである。この $\text{SiO}_2$ 膜105により、 $\text{H}_2\text{O}$ がアルミニウム配線層103に拡散し、腐食するのを防ぐことができる。

【0100】続いて、図1(c)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜105(下地絶縁膜)の上に、 $\text{Si-C-B-O}$ (-H)膜106を形成する。この $\text{Si-C-B-O}$ (-H)膜106は、TEOSと、 $\text{B}_2\text{H}_6$ と、 $\text{O}_2$ とをプラズマ重合させることにより形成される。このときの反応ガスの流量は、TEOSが30sccm、 $\text{B}_2\text{H}_6$ が24sccm、 $\text{O}_2$ が260sccmである。この $\text{Si-C-B-O}$ (-H)膜106の膜厚は5000Åである。

【0101】次ぎに、図1(d)に示すように、 $\text{Si-C-B-O}$ (-H)膜106に対しO(酸素)プラズマ処理を行う。これにより、 $\text{Si-C-B-O}$ (-H)膜106に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、 $\text{Si-O}$ 結合が形成される。これにより、 $\text{Si-C-B-O}$ (-H)膜106は多孔性を有するB含有の $\text{SiO}_2$ 膜107となる。

【0102】続いて、図2(a)に示すように、多孔性を有するB含有の $\text{SiO}_2$ 膜107に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面の $\text{Si-O}$ 結合中のSiのダングリングボンドが $\text{Si-H}$ 結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図2

(b)に示すように、多孔性を有するB含有の $\text{SiO}_2$ 膜107の上に、 $\text{SiO}_2$ 膜108を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜108は、反応ガスとしてTEOSと、 $\text{O}_3$ とを含むCVD法(化学的気相成長法)により形成される。このとき、反応ガス中に含まれる $\text{O}_3$ の濃度はTEOSを酸化するのに十分な濃度であるため、 $\text{SiO}_2$ 膜108は流動性を示し、かなりの平坦化を実現できる。

【0103】次ぎに、図2(c)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜108をCMP法により研磨し、表面を平坦化する。このとき、先に形成された $\text{SiO}_2$ 膜105の一部、及び、B含有の $\text{SiO}_2$ 膜107の一部が研磨により除去される。CMPによる平坦化は、アルミニウム配線層の凸部103a上に形成された $\text{SiO}_2$ 膜105が、完全に除去されてしまわない程度に行う。

【0104】続いて、図2(d)に示すように、平坦化された表面上に、 $\text{SiO}_2$  膜109(カバー絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$  膜109は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$  と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。この $\text{SiO}_2$  膜109の膜厚は1000Åである。以上のように形成された $\text{SiO}_2$  膜105(下地絶縁膜)、109(カバー絶縁膜)、及びB含有の $\text{SiO}_2$  膜107により、被形成体104上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわち、B含有の $\text{SiO}_2$  膜107が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常の $\text{SiO}_2$  膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するB含有の $\text{SiO}_2$  膜107の上部に通常の $\text{SiO}_2$  膜109が形成されているため、B含有の $\text{SiO}_2$  膜107の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、 $\text{SiO}_2$  膜105、109、及び、B含有の $\text{SiO}_2$  膜107は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0105】(第10の実施の形態)第10の実施の形態は、第9の実施の形態をダマシンプロセスに適用したものである。図3の(a)~(d)、図4の(a)~(d)、図5の(a)~(d)、及び、図6の(a)は第9の実施の形態を説明するための断面図である。

【0106】まず、図3(a)に示すように、シリコン基板201上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜202を形成し、その上にアルミニウム層を形成した後パターニングすることにより、アルミニウム配線層203を形成する。これらが被形成体204となる。図3(b)に示すように、アルミニウム配線層203の上に膜厚が1000Åの $\text{SiO}_2$  膜205(下地絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$  膜205はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$  と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。

【0107】続いて、図3(c)に示すように、 $\text{SiO}_2$  膜205(下地絶縁膜)の上に、 $\text{Si-C-B-O}$  (—H)膜206を形成する。この $\text{Si-C-B-O}$  (—H)膜206は、反応ガスとしてTEOS(Tetra-Ethyl-Ortho-Silicate)と、 $\text{B}_2\text{H}_6$  と、 $\text{O}_2$  とを用い、それらをプラズマ重合することにより形成される。このときの反応ガスの流量は、TEOSが30sccm、 $\text{B}_2\text{H}_6$  が24sccm、 $\text{O}_2$  が260sccmである。この $\text{Si-C-B-O}$  (—H)膜106の膜厚は5000Åである。

【0108】次に、図3(d)に示すように、 $\text{Si-C-B-O}$  (—H)膜206に対し $\text{O}$ (酸素)プラズマ処理を行う。これにより、 $\text{Si-C-B-O}$  (—H)膜206に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、 $\text{Si-O}$ 結合が形成される。これにより、 $\text{Si-C-B-O}$  (—H)膜206は多孔性を有するB含有の $\text{SiO}_2$  膜207となる。

【0109】続いて、図4(a)に示すように、多孔性を有するB含有の $\text{SiO}_2$  膜207に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面の $\text{Si-O}$ 結合中のSiのダングリングボンドが $\text{Si-H}$ 結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図4

(b)に示すように、B含有 $\text{SiO}_2$  膜207をパターニングにより開孔し、ダマシン溝208を形成する。このダマシン溝208は、B含有の $\text{SiO}_2$  膜207の下部に形成されている $\text{SiO}_2$  膜205まで通じている。

【0110】次に、図4(c)に示すように、B含有の $\text{SiO}_2$  膜207の上部、及び、ダマシン溝208の側部と下部に $\text{SiO}_2$  膜209(第1の絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$  膜209は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$  と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。ダマシン溝208の側部に形成される $\text{SiO}_2$  膜209により、後でダマシン溝208の内部に埋め込まれるCuが、多孔性を有するB含有の $\text{SiO}_2$  膜207の内部に拡散するのを防ぐことができる。

【0111】次に、図4(d)に示すように、 $\text{SiO}_2$  膜209(第1の絶縁膜)、及び、ダマシン溝208の下部に形成されている $\text{SiO}_2$  膜205(下地絶縁膜)を異方的にエッチングする。これにより、 $\text{SiO}_2$  膜209は、ダマシン溝208の側部に形成されたものを残して除去されることになる。また、ダマシン溝208の下部に形成されている $\text{SiO}_2$  膜205が除去されるため、ダマシン溝208の下部に、アルミニウム配線層203に通じるコンタクトホールが形成される。

【0112】続いて、図5(a)に示すように、ダマシン溝208の内部、及び、B含有の $\text{SiO}_2$  膜207の上部にCuメッキ膜210を形成する。ダマシン溝208の内部に形成されるCuメッキ膜210は、Cu配線として用いられるものである。次に、図5(b)に示すように、B含有の $\text{SiO}_2$  膜207の上部に形成されたCuメッキ膜210を、CMP法により研磨し、除去する。これにより、ダマシン溝208の内部にのみCuメッキ膜が残ることになる。

【0113】続いて、図5(c)に示すように、ダマシン溝208上部にバリヤメタル用のTiN膜211を形成する。これにより、ダマシン溝208の内部のCuが、後でダマシン溝208の上部に形成される $\text{SiO}_2$  膜の膜中に拡散するのを防ぐことができる。次に、図5(d)に示すように、パターニングにより、ダマシン溝208の上部に形成されたTiN膜211aを残して、他の部分に形成されたTiN膜211をエッチングして除去する。

【0114】続いて、図6(a)に示すように、B含有の $\text{SiO}_2$  膜207及びTiN膜211aの上部に、 $\text{SiO}_2$  膜212(カバー絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$  膜212はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$  と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。以上により、被

形成体204の上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわち、B含有のSiO<sub>2</sub>膜207が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常のSiO<sub>2</sub>膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するB含有のSiO<sub>2</sub>膜207の上部に通常のSiO<sub>2</sub>膜212(カバー絶縁膜)が形成されているため、B含有のSiO<sub>2</sub>膜207の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、B含有のSiO<sub>2</sub>膜207とSiO<sub>2</sub>膜212は、有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0115】(第11の実施の形態)第11の実施の形態が、第1の実施の形態から第10の実施の形態と異なる点は、多孔性を有するSiO<sub>2</sub>膜、又は、多孔性を有するB含有のSiO<sub>2</sub>膜を形成する代わりに、多孔性を有するF含有のSiO<sub>2</sub>膜を形成する点である。図1の(a)~(d)、及び、図2の(a)~(d)は、第11の実施の形態を説明するための断面図である。

【0116】まず、図1(a)に示すように、シリコン基板101上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜102を形成する。そして、BPSG膜102上にアルミニウム膜を形成後、それをパターニングしてアルミニウム配線層103を形成する。このように形成されたシリコン基板101、BPSG膜102、及び、アルミニウム配線層103により、被形成体104が構成される。

【0117】次に、図1(b)に示すように、被形成体104の上にSiO<sub>2</sub>膜105(下地絶縁膜)を形成する。このSiO<sub>2</sub>膜105は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>Oを用いる。このSiO<sub>2</sub>膜105の膜厚は1000Åである。このSiO<sub>2</sub>膜105により、H<sub>2</sub>Oがアルミニウム配線層103に拡散し、腐食するのを防ぐことができる。

【0118】続いて、図1(c)に示すように、SiO<sub>2</sub>膜105(下地絶縁膜)の上に、炭素とフッ素、又は、炭素とフッ素と水素とを含む膜(以下、Si-C-F(-H)膜と書く)106を形成する。このSi-C-F(-H)膜106は、反応ガスとしてTEOSとC<sub>2</sub>F<sub>6</sub>とを用い、シリコン基板101を100℃に保持しながら、周波数が13.56MHzであるRF電圧を印加し、圧力が1Torrの下で形成される。このときの反応ガスの流量は、TEOSが30sccmであり、C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>が5sccmである。このSi-C-F(-H)膜106の膜厚は5000Åである。

【0119】次に、図1(d)に示すように、Si-C-F(-H)膜106に対しO(酸素)プラズマ処理を行う。これにより、Si-C-F(-H)膜106に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、Si-O結合が形成される。これにより、Si-C-F(-H)膜106は、多孔性を有するF含有のSiO<sub>2</sub>膜1

07となる。

【0120】続いて、図2(a)に示すように、多孔性を有するF含有のSiO<sub>2</sub>膜107に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面のSi-O結合中のSiのダングリングボンドがSi-H結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図2

(b)に示すように、多孔性を有するF含有のSiO<sub>2</sub>膜107の上に、SiO<sub>2</sub>膜108を形成する。このSiO<sub>2</sub>膜108は、反応ガスとしてTEOSと、O<sub>3</sub>とを含むCVD法(化学的気相成長法)により形成される。このとき、反応ガスに含まれるO<sub>3</sub>の濃度はTEOSを酸化するのに十分な濃度であるため、SiO<sub>2</sub>膜108は流動性を示し、かなりの平坦化を実現できる。

【0121】次に、図2(c)に示すように、SiO<sub>2</sub>膜108をCMP法により研磨し、表面を平坦化する。このとき、先に形成されたSiO<sub>2</sub>膜105の一部、及び、F含有のSiO<sub>2</sub>膜107の一部が研磨により除去される。CMPによる平坦化は、アルミニウム配線層の凸部103a上に形成されたSiO<sub>2</sub>膜105が、完全に除去されてしまわない程度に行う。

【0122】続いて、図2(d)に示すように、平坦化された表面上に、SiO<sub>2</sub>膜109(カバー絶縁膜)を形成する。このSiO<sub>2</sub>膜109は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとしてSiH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>Oを用いる。このSiO<sub>2</sub>膜109の膜厚は1000Åである。以上のように形成されたSiO<sub>2</sub>膜105(下地絶縁膜)、109(カバー絶縁膜)、及び、F含有のSiO<sub>2</sub>膜107により、被形成体104上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわち、F含有のSiO<sub>2</sub>膜107が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常のSiO<sub>2</sub>膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するF含有のSiO<sub>2</sub>膜107の上部に通常のSiO<sub>2</sub>膜109が形成されているため、F含有のSiO<sub>2</sub>膜107の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、SiO<sub>2</sub>膜105、109、及び、F含有のSiO<sub>2</sub>膜107は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0123】(第12の実施の形態)第12の実施の形態は、第11の実施の形態をダマシンプロセスに適用したものである。図3の(a)~(d)、図4の(a)~(d)、図5の(a)~(d)、及び、図6の(a)は第10の実施の形態を説明するための断面図である。

【0124】まず、図3(a)に示すように、シリコン基板201上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜202を形成し、その上にアルミニウム層を形成した後パターニングすることにより、アルミニウム配線層203を形成する。これらが被形成体204となる。図3(b)に示すように、アルミニウム配線層203の上に膜厚が1000ÅのSiO<sub>2</sub>膜205(下地絶縁膜)を形成する。このSiO<sub>2</sub>膜

205はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。

【0125】続いて、図3(c)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜205(下地絶縁膜)の上に、 $\text{Si-C-F}(-\text{H})$ 膜206を形成する。この $\text{Si-C-F}(-\text{H})$ 膜206は、反応ガスとしてTEOS(Tetra-Ethyl-Ortho-Silicate)と $\text{C}_2\text{F}_6$ を用い、シリコン基板101を $100^\circ\text{C}$ に保持しながら、周波数が13.56MHzであるRF電圧を印加し、圧力が1 Torrの下で形成される。このときの反応ガスの流量は、TEOSが30 sccmであり、 $\text{C}_2\text{F}_6$ が5 sccmである。この $\text{Si-C-F}(-\text{H})$ 膜106の膜厚は5000 Åである。

【0126】次に、図3(d)に示すように、 $\text{Si-C-F}(-\text{H})$ 膜206に対し $\text{O}$ (酸素)プラズマ処理を行う。これにより、 $\text{Si-C-F}(-\text{H})$ 膜206に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、 $\text{Si-O}$ 結合が形成される。これにより、 $\text{Si-C-F}(-\text{H})$ 膜206は多孔性を有するF含有の $\text{SiO}_2$ 膜207となる。

【0127】続いて、図4(a)に示すように、多孔性を有するF含有の $\text{SiO}_2$ 膜207に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面の $\text{Si-O}$ 結合中のSiのダングリングボンドが $\text{Si-H}$ 結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図4

(b)に示すように、F含有 $\text{SiO}_2$ 膜207をパターニングにより開孔し、ダマシン溝208を形成する。このダマシン溝208は、F含有の $\text{SiO}_2$ 膜207の下部に形成されている $\text{SiO}_2$ 膜205まで通じている。

【0128】次に、図4(c)に示すように、F含有の $\text{SiO}_2$ 膜207の上部、及び、ダマシン溝208の側部と下部に $\text{SiO}_2$ 膜209(第1の絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜209は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。ダマシン溝208の側部に形成される $\text{SiO}_2$ 膜209により、後でダマシン溝208の内部に埋め込まれるCuが、多孔性を有するB含有の $\text{SiO}_2$ 膜207の内部に拡散するのを防ぐことができる。

【0129】次に、図4(d)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜209(第1の絶縁膜)、及び、ダマシン溝208の下部に形成されている $\text{SiO}_2$ 膜205(下地絶縁膜)を異方的にエッチングする。これにより、 $\text{SiO}_2$ 膜209は、ダマシン溝208の側部に形成されたものを残して除去されることになる。また、ダマシン溝208の下部に形成されている $\text{SiO}_2$ 膜205が除去されるため、ダマシン溝208の下部に、アルミニウム配線層203に通じるコンタクトホールが形成される。

【0130】続いて、図5(a)に示すように、ダマシン溝208の内部、及び、F含有の $\text{SiO}_2$ 膜207の

上部にCuメッキ膜210を形成する。ダマシン溝208の内部に形成されるCuメッキ膜210は、Cu配線として用いられるものである。次に、図5(b)に示すように、F含有の $\text{SiO}_2$ 膜207の上部に形成されたCuメッキ膜210を、CMP法により研磨し、除去する。これにより、ダマシン溝208の内部にのみCuメッキ膜が残ることになる。

【0131】続いて、図5(c)に示すように、ダマシン溝208上部にバリアメタル用のTiN膜211を形成する。これにより、ダマシン溝208の内部のCuが、後でダマシン溝208の上部に形成される $\text{SiO}_2$ 膜の膜中に拡散するのを防ぐことができる。次に、図5(d)に示すように、パターニングにより、ダマシン溝208の上部に形成されたTiN膜211aを残して、他の部分に形成されたTiN膜211をエッチングして除去する。

【0132】続いて、図6(a)に示すように、F含有の $\text{SiO}_2$ 膜207及びTiN膜211aの上部に、 $\text{SiO}_2$ 膜212(カバー絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜212はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。以上により、被形成体204の上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわち、F含有の $\text{SiO}_2$ 膜207が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常の $\text{SiO}_2$ 膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するF含有の $\text{SiO}_2$ 膜207の上部に通常の $\text{SiO}_2$ 膜212(カバー絶縁膜)が形成されているため、F含有の $\text{SiO}_2$ 膜207の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、F含有の $\text{SiO}_2$ 膜207と $\text{SiO}_2$ 膜212は、有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0133】(第13の実施の形態)第13の実施の形態は、多孔性を有するF含有の $\text{SiO}_2$ 膜を形成するために、炭素とフッ素と酸素、又は、炭素とフッ素と酸素及び水素を含む膜(以下、 $\text{Si-C-F-O}(-\text{H})$ 膜と書く)を形成する。図1の(a)~(d)、及び、図2の(a)~(d)は、第13の実施の形態を説明するための断面図である。

【0134】まず、図1(a)に示すように、シリコン基板101上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜102を形成する。そして、BPSG膜102上にアルミニウム膜を形成後、それをパターニングしてアルミニウム配線層103を形成する。このように形成されたシリコン基板101、BPSG膜102、及び、アルミニウム配線層103により、被形成体104が構成される。

【0135】次に、図1(b)に示すように、被形成体104の上に $\text{SiO}_2$ 膜105(下地絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜105は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用い



る。この $\text{SiO}_2$ 膜105の膜厚は1000Åである。この $\text{SiO}_2$ 膜105により、 $\text{H}_2\text{O}$ がアルミニウム配線層103に拡散し、腐食するのを防ぐことができる。

【0136】続いて、図1(c)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜105(下地絶縁膜)の上に、 $\text{Si-C-F-O}$ (-H)膜106を形成する。この $\text{Si-C-F-O}$ (-H)膜106は、 $\text{TEOS}$ と、 $\text{C}_2\text{F}_6$ と、 $\text{O}_2$ とをプラズマ重合させることにより形成される。このときの反応ガスの流量は、 $\text{TEOS}$ が30sccm、 $\text{C}_2\text{F}_6$ が5sccm、 $\text{O}_2$ が260sccmである。この $\text{Si-C-F-O}$ (-H)膜106の膜厚は5000Åである。

【0137】次に、図1(d)に示すように、 $\text{Si-C-F-O}$ (-H)膜106に対し $\text{O}$ (酸素)プラズマ処理を行う。これにより、 $\text{Si-C-F-O}$ (-H)膜106に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、 $\text{Si-O}$ 結合が形成される。これにより、 $\text{Si-C-F-O}$ (-H)膜106は多孔性を有するF含有の $\text{SiO}_2$ 膜107となる。

【0138】続いて、図2(a)に示すように、多孔性を有するF含有の $\text{SiO}_2$ 膜107に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面の $\text{Si-O}$ 結合中のSiのダングリングボンドが $\text{Si-H}$ 結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図2

(b)に示すように、多孔性を有するF含有の $\text{SiO}_2$ 膜107の上に、 $\text{SiO}_2$ 膜108を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜108は、反応ガスとして $\text{TEOS}$ と、 $\text{O}_3$ とを含むCVD法(化学的気相成長法)により形成される。このとき、反応ガス中に含まれる $\text{O}_3$ の濃度は $\text{TEOS}$ を酸化するのに十分な濃度であるため、 $\text{SiO}_2$ 膜108は流動性を示し、かなりの平坦化を実現できる。

【0139】次に、図2(c)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜108をCMP法により研磨し、表面を平坦化する。このとき、先に形成された $\text{SiO}_2$ 膜105の一部、及び、F含有の $\text{SiO}_2$ 膜107の一部が研磨により除去される。CMPによる平坦化は、アルミニウム配線層の凸部103a上に形成された $\text{SiO}_2$ 膜105が、完全に除去されてしまわない程度に行う。

【0140】続いて、図2(d)に示すように、平坦化された表面上に、 $\text{SiO}_2$ 膜109(カバー絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜109は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。この $\text{SiO}_2$ 膜109の膜厚は1000Åである。以上のように形成された $\text{SiO}_2$ 膜105(下地絶縁膜)、109(カバー絶縁膜)、及びF含有の $\text{SiO}_2$ 膜107により、被形成体104上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわち、F含有の $\text{SiO}_2$ 膜107が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常の $\text{SiO}_2$ 膜よ

りも小さくなる。また、多孔性を有するF含有の $\text{SiO}_2$ 膜107の上部に通常の $\text{SiO}_2$ 膜109が形成されているため、F含有の $\text{SiO}_2$ 膜107の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、 $\text{SiO}_2$ 膜105、109、及び、F含有の $\text{SiO}_2$ 膜107は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0141】(第14の実施の形態)第14の実施の形態は、第13の実施の形態をダマシンプロセスに適用したものである。図3の(a)~(d)、図4の(a)~(d)、図5の(a)~(d)、及び、図6の(a)は第14の実施の形態を説明するための断面図である。

【0142】まず、図3(a)に示すように、シリコン基板201上にBPSG(borophosphosilicate glass)膜202を形成し、その上にアルミニウム層を形成した後パターンニングすることにより、アルミニウム配線層203を形成する。これらが被形成体204となる。図3(b)に示すように、アルミニウム配線層203の上に膜厚が1000Åの $\text{SiO}_2$ 膜205(下地絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜205はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。

【0143】続いて、図3(c)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜205(下地絶縁膜)の上に、 $\text{Si-C-F-O}$ (-H)膜206を形成する。この $\text{Si-C-F-O}$ (-H)膜206は、反応ガスとして $\text{TEOS}$ (Tetra-Ethyl-Ortho-Silicate)と、 $\text{C}_2\text{F}_6$ と、 $\text{O}_2$ とを用い、それらをプラズマ重合することにより形成される。このときの反応ガスの流量は、 $\text{TEOS}$ が30sccm、 $\text{C}_2\text{F}_6$ が5sccm、 $\text{O}_2$ が260sccmである。この $\text{Si-C-F-O}$ (-H)膜206の膜厚は5000Åである。

【0144】次に、図3(d)に示すように、 $\text{Si-C-F-O}$ (-H)膜206に対し $\text{O}$ (酸素)プラズマ処理を行う。これにより、 $\text{Si-C-F-O}$ (-H)膜206に含まれるC及びHが酸化され、膜外に放出される。C及びHが放出された部分には空隙ができるとともに、 $\text{Si-O}$ 結合が形成される。これにより、 $\text{Si-C-F-O}$ (-H)膜206は多孔性を有するF含有の $\text{SiO}_2$ 膜207となる。

【0145】続いて、図4(a)に示すように、多孔性を有するF含有の $\text{SiO}_2$ 膜207に対してH(水素)プラズマ処理を行う。これにより、空隙の表面の $\text{Si-O}$ 結合中のSiのダングリングボンドが $\text{Si-H}$ 結合に置き換えられ、耐吸湿性が良くなる。続いて、図4(b)に示すように、B含有 $\text{SiO}_2$ 膜207をパターンニングにより開孔し、ダマシン溝208を形成する。このダマシン溝208は、F含有の $\text{SiO}_2$ 膜207の下部に形成されている $\text{SiO}_2$ 膜205まで通じている。

【0146】次に、図4(c)に示すように、F含有の $\text{SiO}_2$ 膜207の上部、及び、ダマシン溝208の

側部と下部に $\text{SiO}_2$ 膜209(第1の絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜209は、プラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。ダマシン溝208の側部に形成される $\text{SiO}_2$ 膜209により、後でダマシン溝208の内部に埋め込まれるCuが、多孔性を有するB含有の $\text{SiO}_2$ 膜207の内部に拡散するのを防ぐことができる。

【0147】次に、図4(d)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 膜209、及び、ダマシン溝208の下部に形成されている $\text{SiO}_2$ 膜205(下地絶縁膜)を異方的にエッチングする。これにより、 $\text{SiO}_2$ 膜209(第1の絶縁膜)は、ダマシン溝208の側部に形成されたものを残して除去されることになる。また、ダマシン溝208の下部に形成されている $\text{SiO}_2$ 膜205が除去されるため、ダマシン溝208の下部に、アルミニウム配線層203に通じるコンタクトホールが形成される。

【0148】続いて、図5(a)に示すように、ダマシン溝208の内部、及び、B含有の $\text{SiO}_2$ 膜207の上部にCuメッキ膜210を形成する。ダマシン溝208の内部に形成されるCuメッキ膜210は、Cu配線として用いられるものである。次に、図5(b)に示すように、F含有の $\text{SiO}_2$ 膜207の上部に形成されたCuメッキ膜210を、CMP法により研磨し、除去する。これにより、ダマシン溝208の内部にのみCuメッキ膜が残ることになる。

【0149】続いて、図5(c)に示すように、ダマシン溝208上部にバリアメタル用のTiN膜211を形成する。これにより、ダマシン溝208の内部のCuが、後でダマシン溝208の上部に形成される $\text{SiO}_2$ 膜の膜中に拡散するのを防ぐことができる。次に、図5(d)に示すように、パターニングにより、ダマシン溝208の上部に形成されたTiN膜211aを残して、他の部分に形成されたTiN膜211をエッチングして除去する。

【0150】続いて、図6(a)に示すように、F含有の $\text{SiO}_2$ 膜207及びTiN膜211aの上部に、 $\text{SiO}_2$ 膜212(カバー絶縁膜)を形成する。この $\text{SiO}_2$ 膜212はプラズマCVD法により形成され、反応ガスとして $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ を用いる。以上により、被形成体204の上に耐熱性、及び、耐吸湿性の良い低誘電率の層間絶縁膜が形成されたことになる。すなわち、F含有の $\text{SiO}_2$ 膜207が多孔性を有しているため、その比誘電率は通常の $\text{SiO}_2$ 膜よりも小さくなる。また、多孔性を有するF含有の $\text{SiO}_2$ 膜207の上部に通常の $\text{SiO}_2$ 膜212(カバー絶縁膜)が形成されているため、 $\text{SiO}_2$ 膜207の内部に水分が侵入するのを防ぐことができる。更に、F含有の $\text{SiO}_2$ 膜207と $\text{SiO}_2$ 膜212は、有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。

【0151】

【発明の効果】以上、本発明にかかる層間絶縁膜の形成方法においては、被形成体上に多孔性を有する $\text{SiO}_2$ 膜、多孔性を有するB含有の $\text{SiO}_2$ 膜、又は多孔性を有するF含有の $\text{SiO}_2$ 膜を形成する。これらの絶縁膜の比誘電率は2.0~3.0となり、多孔性を有さない通常の $\text{SiO}_2$ 膜の比誘電率4.0に比べて小さくなる。

【0152】そして、これらの多孔性を有する絶縁膜は有機絶縁膜に比べて耐熱性が良い。また、これらの多孔性を有する絶縁膜に対し、H(水素)プラズマ処理を行う。これにより、膜中に形成される空隙の表面の $\text{Si}-\text{O}$ 結合中のSiのダングリングボンドが $\text{Si}-\text{H}$ 結合に置換され、膜の耐吸湿性が良くなる。更に、これらの多孔性を有する絶縁膜上に、カバー絶縁膜を形成する。これにより、膜の耐吸湿性が更に良くなる。

【0153】また、この多孔性を有する絶縁膜を、ダマシンプロセスに適用することができる。ダマシンプロセスでは、電気抵抗の少ないCu配線層を形成することができる。そのため、この多孔性を有する絶縁膜とCu配線層を併用することにより、配線容量の少ない、データ処理速度の速い半導体装置を作ることができる。これにより、LSI等の半導体装置に、本発明に係る多孔性を有する絶縁膜を用いれば、データ処理速度を従来に比べて高速化することが可能となる。即ち、本発明における多孔性を有する絶縁膜は、従来用いられている $\text{SiO}_2$ 膜に比べて比誘電率が低いので、配線間の電気容量を減らすことが可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態、第3の実施の形態、第5の実施の形態、第7の実施の形態、第9の実施の形態、第11の実施の形態、及び第13の実施の形態に係る層間絶縁膜の形成方法について示す断面図(その1)である。

【図2】 本発明の第1の実施の形態、第3の実施の形態、第5の実施の形態、第7の実施の形態、第9の実施の形態、第11の実施の形態、及び第13の実施の形態に係る層間絶縁膜の形成方法について示す断面図(その2)である。

【図3】 本発明の第2の実施の形態、第4の実施の形態、第6の実施の形態、第8の実施の形態、第10の実施の形態、第12の実施の形態、及び第14の実施の形態に係る層間絶縁膜の形成方法について示す断面図(その1)である。

【図4】 本発明の第2の実施の形態、第4の実施の形態、第6の実施の形態、第8の実施の形態、第10の実施の形態、第12の実施の形態、及び第14の実施の形態に係る層間絶縁膜の形成方法について示す断面図(その2)である。

【図5】 本発明の第2の実施の形態、第4の実施の形態、第6の実施の形態、第8の実施の形態、第10の実

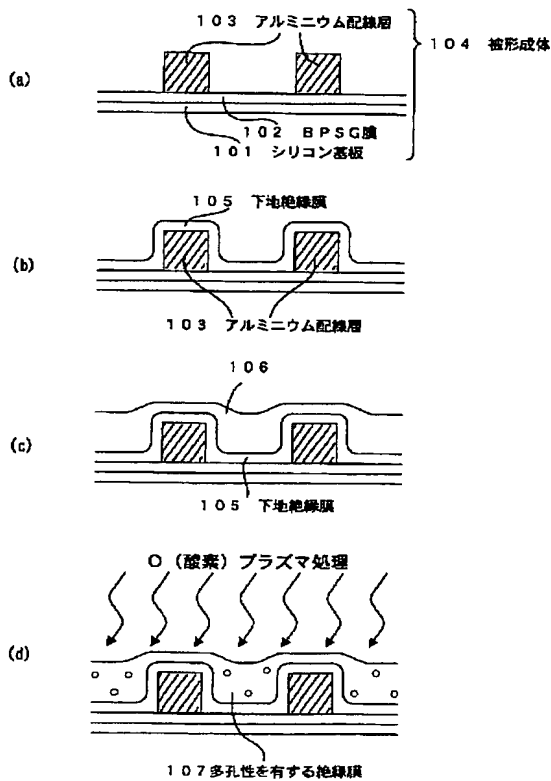
施の形態、第12の実施の形態、及び第14の実施の形態に係る層間絶縁膜の形成方法について示す断面図（その3）である。

【図6】 本発明の第2の実施の形態、第4の実施の形態、第6の実施の形態、第8の実施の形態、第10の実施の形態、第12の実施の形態、及び第14の実施の形態に係る層間絶縁膜の形成方法について示す断面図（その4）である。

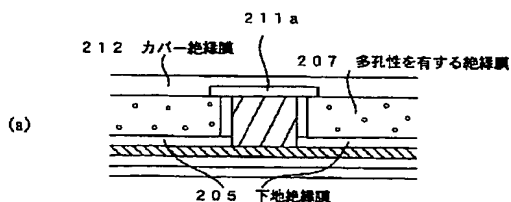
【符号の説明】

101、201 シリコン基板、  
102、202 BPSG (borophosphosilicate glass) 膜、  
103、203 アルミニウム配線層、  
103a アルミニウム配線層の凸部、  
104、204 被形成体、

【図1】

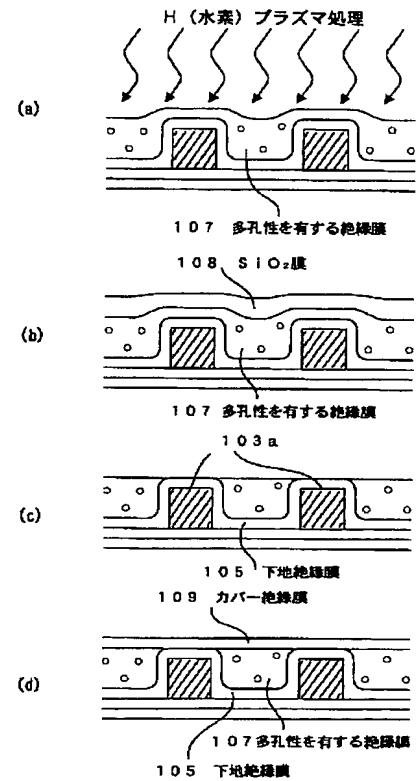


【図6】

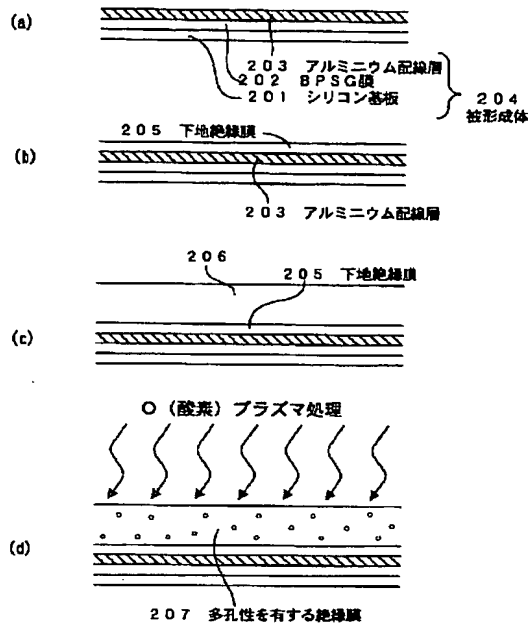


105、205 プラズマSiO<sub>2</sub>膜（下地絶縁膜）、  
106、206 炭素、ホウ素、フッ素、酸素、又は、水素を含む膜、  
107、207 多孔性を有するSiO<sub>2</sub>膜、多孔性を有するB含有のSiO<sub>2</sub>膜、又は、多孔性を有するF含有のSiO<sub>2</sub>膜、  
108 (TEOS+O<sub>3</sub>) SiO<sub>2</sub>膜、  
109、212 プラズマSiO<sub>2</sub>膜（カバー絶縁膜）、  
10 208 ダマシン溝、  
209 プラズマSiO<sub>2</sub>膜（第1の絶縁膜）、  
210 Cuメッキ膜、  
211 TiN膜（バリアメタル層）、  
211a ダマシン溝上部のTiN膜（バリアメタル層）。

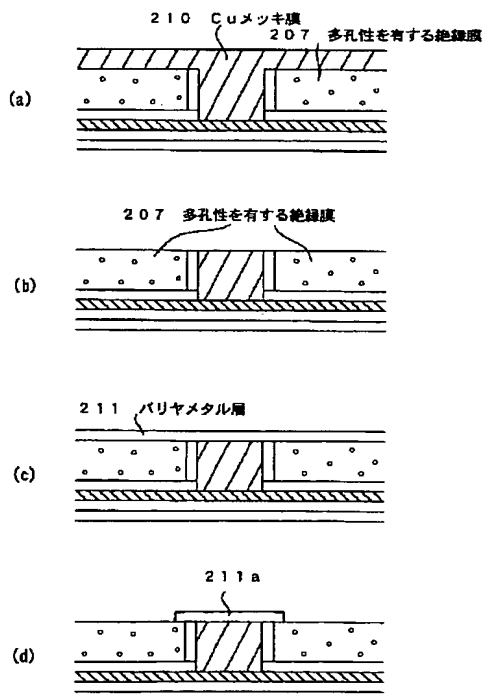
【図2】



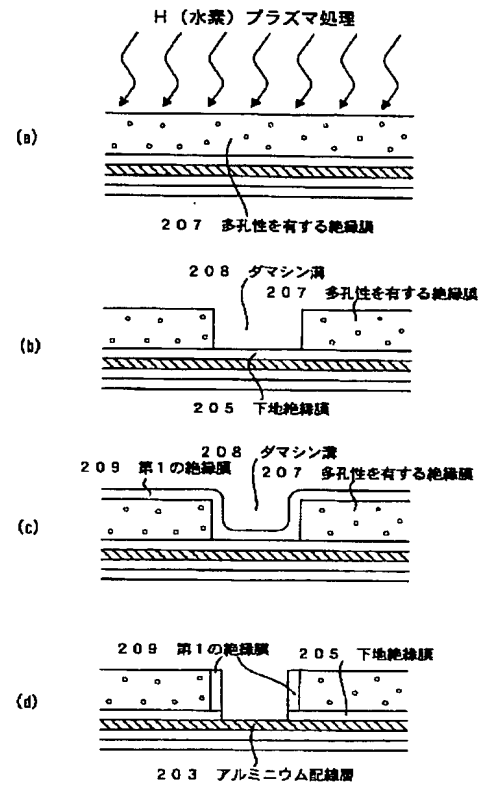
【図3】



【図5】



【図4】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5F033 HH08 HH11 HH33 JJ11 KK08  
MM02 MM05 MM13 PP27 PP28  
QQ00 QQ48 QQ89 RR04 RR11  
RR13 RR15 SS01 SS02 SS03  
SS04 SS15 TT02 TT06 TT07  
XX01 XX24 XX27  
5F058 BA07 BA20 BD02 BD04 BD06  
BD18 BF07 BF23 BF25 BF29  
BF32 BH16 BH20 BJ01 BJ02